

ANÁLISIS MEDIANTE SIG DE LOS PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA

CAMARASA, A. M.¹; LÓPEZ-GARCÍA, M. J.¹; PASCUAL, J. A.²

¹Departamento de Geografía. Universidad de València.

Avda. Blasco Ibañez, nº 28. 46010 VALENCIA.

maria.j.lopez@uv.es, ana.camarasa@uv.es

²Centro de Investigaciones sobre Desertificación-CIDE (CSI-UV-GV)

RESUMEN

El umbral de escorrentía (P_0) constituye uno de los parámetros clave en el estudio de la respuesta hidrológica de una cuenca. Resulta fundamental para el estudio de episodios y hace referencia a las pérdidas de precipitación, que tienen lugar en el sistema fluvial, desde el inicio del mismo hasta que se produce escorrentía. Uno de los métodos más usado para la estimación de este umbral es el desarrollado por el *US Soil Conservation Service* –SCS– (1972).

Este método utiliza, entre otros, valores de pendiente, vegetación, usos del suelo y características hidrológicas del suelo. Aunque los valores de las tablas originales han sido modificados para el caso español por Témez, la experiencia demuestra que, en ambientes de rambla, se necesita una mayor adaptación, dada la especificidad del entorno morfoclimático.

Este trabajo propone algunas modificaciones para mejorar la estimación del umbral de escorrentía en ramblas mediterráneas. Se presenta una aproximación, mediante SIG, al cálculo del P_0 en el Bco de Carraixet, incluyendo el análisis de las características hidrogeomorfológicas de la cuenca para la estimación de la infiltración del suelo. Además, la estimación del parámetro en varias fechas permite un estudio diacrónico, que pone de manifiesto la evolución espacio-temporal de la producción de escorrentía, en función de los cambios en el uso del suelo.

Palabras clave

Umbral de escorrentía, unidades hidrogeomorfológicas, cuencas mediterráneas, cambios de uso del suelo.

ABSTRACT

The runoff threshold (P_0) is one of the key parameters in the study of catchment hydrological response. It is fundamental for studying episodes (events) and provides information on the precipitation losses, within the fluvial system, from the start of the episode until runoff is produced. One of the most used methods for estimating this threshold is that developed by the *US Soil Conservation Service* –SCS– (1972).

This method uses, amongst others, slope values, vegetation, land use and soil hydrological characteristics. Although the values in the original tables have been modified for the Spanish case by Témez, experience shows that in ephemeral streams further adaptation is necessary given the specific conditions of these morphoclimatic environments.

This paper proposes some modifications for improving the estimation of the runoff threshold in Mediterranean ephemeral streams. An approximation is presented, using GIS, for the estimation of P_0 in the Barranc de Carraixet, including the analysis of the hidrogeomorphological characteristics of the catchment that are used for estimating the soil infiltration. Furthermore the estimation of this parameter over various dates allows a long-term study that illustrates the evolution in both space and time of the production of runoff in relation to changes in land use.

Keywords

Runoff threshold, hidrogeomorphological units, Mediterranean catchments, land use changes.

1. INTRODUCCIÓN. LA ESTIMACIÓN DEL PARÁMETRO DE ESCORRENTÍA (P_0) MEDIANTE SIG.

La producción de escorrentía superficial, a escala de cuenca, constituye un proceso clave en estudios hidrológicos de todo tipo, tanto bajo la óptica de recurso (disponibilidad hídrica, conservación de suelo, cobertura vegetal, capacidad de uso, etc.), como de riesgo (inundación, erosión, desertificación, etc.).

En los últimos años, la creciente disponibilidad de datos digitales espaciales referidos a las cuencas de drenaje ha propiciado el uso, cada vez más extendido, de los Sistemas de Información Geográfica para el cálculo de los parámetros que intervienen en los estudios hidrológicos. Meijerink *et al.* (1994) destacan las utilidades de los SIGs en la modelización hidrológica. Camarasa *et al.* (2001) presentan una revisión extensa sobre el uso de los SIGs en las diferentes fases involucradas en el riesgo de inundación (previsión, alarma, detección, vigilancia, estimación y espacialización de parámetros hidrológicos, análisis, simulación y gestión integral del riesgo). También a nivel de estudios aplicados y de planificación hídrica, resulta cada vez más frecuente la utilización de los SIGs como herramienta habitual (Cuenca, 1996, Francés *et al.*, 2000). En algunos casos la programación hidrológica se desarrolla directamente bajo entornos compatibles con los SIGs de más amplio uso, como es el caso del HIDROGIS (Almorox *et al.*, 2001), totalmente asequible para el *software* de IDRISI (Eastman, 1997).

Dos factores determinan el proceso de generación de escorrentía: la lluvia y la cuenca de drenaje. Volumen, intensidad y distribución espacio-temporal de la precipitación caracterizan los *inputs* o entradas al sistema, mientras que la configuración hidrogeomorfológica de la cuenca, la cubierta del suelo y la humedad antecedente, regulan la conversión lluvia-caudal para cada episodio. Este trabajo se centra únicamente en las características de la cuenca, obviando la precipitación, puesto que pretende caracterizar la respuesta hidrológica de los diferentes sectores de la cuenca, frente a idénticas condiciones de lluvia. Abordaremos, por tanto, la cantidad de lluvia acumulada necesaria para generar flujo superficial, en función de la *capacidad potencial de la cuenca para producir escorrentía*. En términos de balance hídrico, el parámetro de escorrentía (P_0) refleja el umbral en que, bajo hipótesis de lluvia bruta suficiente y uniformemente repartida por toda la superficie, comienza a producirse flujo *Hortoniano*, una vez satisfechas las pérdidas por evapotranspiración, intercepción e infiltración.

Existen muchos métodos para evaluar este parámetro, pero en ambientes semiáridos y mediterráneos, los modelos complejos no dan buenos resultados, tanto por la especificidad de los procesos de conversión lluvia-caudal (Camarasa, 1995; Camarasa y Segura, 2001), como por el exceso de información que requieren (Graf, 1988). En estos casos, los métodos empíricos han demostrado mayor efectividad. Uno de los modelos más utilizado (Ferrer Polo 1993; Camarasa, 1995; Ferrer, 2001) es el del Número de Curva (NC), desarrollado por el *US Soil Conservation Service* (SCS) en 1972, y modificado, para España, por Témez (1978, 1991). Utiliza, entre otros, valores de pendiente, vegetación y usos del suelo, fácilmente disponibles en formato digital, hecho que permite automatizar el cálculo del NC (Ferrer *et al.*, 1995) y aún extiende más su uso (Francés y Benito, 1995; Bescós y Camarasa, 2000; Almorox *et al.*, 2001).

A pesar de la generalización del método y sus múltiples adaptaciones (Hjelmfelt, 1991), quedan aún muchas incertidumbres (Perrone y Madramootoo, 1998; Bhuyan et

al., 2003), relacionadas, en particular, con la asignación de grupos hidrológicos de suelo, sobre todo, en zonas semiáridas (Simanton *et al.*, 1996; Silveira *et al.*, 2000). En nuestro trabajo se utiliza el método de SCS modificado en base a una propuesta metodológica para la determinación del grupo hidrológico del suelo. Esta propuesta se basa en el análisis hidrogeomorfológico de la cuenca, que, entendemos, mejora la estimación del parámetro de escorrentía.

De todos los parámetros de la cuenca que intervienen en el cálculo del umbral de escorrentía según este método, los usos del suelo constituyen la variable más dinámica en el tiempo, sobre todo en cuencas sometidas a una fuerte presión humana, como es el caso de cuenca del Carraixet (Pascual, 2004a). Es de suponer que los cambios ocurridos en la ocupación del suelo en la zona (abandono de secano, extensión del cultivo de cítricos, incremento de la superficie urbanizada, etc.) pueden alterar la producción de escorrentía. Por ello, el trabajo plantea, también, un estudio diacrónico de la evolución espacio-temporal de la producción de escorrentía en función de los cambios de usos del suelo ocurridos durante el período 1956-1998.

2. METODOLOGÍA. LA ESTIMACIÓN DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA (P_0) SEGÚN EL MÉTODO DEL SCS MODIFICADO

El modelo de Número de Curva fue desarrollado por el *Soil Conservation Service* (SCS) de E.E.U.U. en 1972. Posteriormente ha sido revisado y modificado en muchas ocasiones, para, al final, convertirse en uno de los métodos empíricos de mayor uso para el cálculo de la producción de escorrentía. En el caso español, fue adaptado por Témez (1978) y reviste especial importancia dado que constituye la base de la norma de drenaje de carreteras (Ferrer Polo, 1993).

El método considera el proceso de producción de escorrentía en dos fases: una primera fase, desde el comienzo de la lluvia hasta el inicio de la escorrentía, en que dominan las pérdidas y el suelo absorbe toda el agua precipitada, hasta un valor límite. Alcanzado este valor, comienza la segunda fase en que la precipitación sólo es absorbida en parte, dando lugar a escorrentía superficial. Se asume, por tanto, la existencia de un umbral o parámetro de escorrentía (P_0), expresado en mm, por debajo del cuál las precipitaciones no producen escorrentía. La siguiente ecuación define la relación básica entre precipitación, umbral y escorrentía (Témez, 1978):

$$\begin{aligned} \sum E &= 0 & \text{para} & \sum P \leq P_0 \\ \sum E &= \frac{(\sum P - P_0)^2}{\sum P + 4P_0} & \text{para} & \sum P \geq P_0 \end{aligned} \quad [1]$$

Siendo: $\sum P$ = Lluvia acumulada desde el comienzo del aguacero

$\sum E$ = Escorrentía superficial

P_0 = Parámetro o umbral de escorrentía

El parámetro de escorrentía puede obtenerse, bien a partir del balance hídrico (Osborn y Lane, 1969; Segura, 1990; Camarasa y García-Bartual, 1991), bien a partir de las características de la cuenca, siguiendo las tablas propuestas por Témez (1978), en base a las establecidas por el SCS. Estos valores deben adaptarse, además, para tener en cuenta el estado previo de humedad (condición I: seco; condición II: medio y condición III: húmedo).

En el presente trabajo se obtiene el umbral de escorrentía combinando los factores de cuenca: pendiente del terreno, uso del suelo, tipo de práctica de cultivo y características hidrológicas del suelo, según las tablas de Témez, y para condiciones medias de humedad antecedente. Pendiente y usos son fáciles de obtener y reinterpretar en claves hidrológicas. El grupo hidrológico de suelo, sin embargo, presenta mayor dificultad de definición, pese a que es una de las variable más sensible del método (Ferrer, 2002). Es por ello que este factor ha sido estudiado con mayor detalle y a continuación se propone una aproximación metodológica para su estimación, adaptada a entornos mediterráneos.

2.1. Modificación del método para cuencas mediterráneas. Determinación del grupo hidrológico de suelo a partir del análisis hidrogeomorfológico.

El método adaptado por Temes (1978) contempla cuatro tipos hidrológicos de suelo, en función de su facilidad de drenaje:

- Grupo A: suelos excesivamente drenados. El agua se infiltra rápidamente aún cuando están muy húmedos. Son profundos y de texturas gruesas (arenosas o areno-limosas).
- Grupo B: suelos moderadamente drenados. Presentan una profundidad de media a profunda y textura franco-arenosa, franca, franco-arcillosa-arenosa o franco-limosa.
- Grupo C: suelos imperfectamente drenados. La infiltración es lenta cuando están muy húmedos. Presentan textura franco-arcillosa, franco-arcillosa-limosa, limosa o arcillo-limosa.
- Grupo D: suelos pobremente drenados. Cuando están húmedos la infiltración es muy lenta. Presentan horizonte de arcilla en la superficie o próximos a ella y están pobremente o muy pobremente drenados. Incluye los terrenos con nivel freático permanentemente alto y litosuelos.

Para un entorno morfoclimático homogéneo de clima regular, la interpretación de grupo hidrológico a partir de la cartografía de suelos puede resultar relativamente sencilla. Sin embargo, es mucho más compleja en ambientes mediterráneos y semiáridos, donde los suelos presentan menor desarrollo, mayor heterogeneidad y son muy dependientes de la roca madre. Algunos investigadores (Ferrer 2002; Pascual, 2004) han incluido en sus análisis información detallada sobre suelos, sin que los resultados mejoraran mucho en zonas mediterráneas. Otros autores (Francés y Benito 1995; Camarasa, 1995; Olivares, 2005) han asignado el grupo hidrológico directamente a partir de la litología, sin considerar la edafología.

A nuestro entender, litología, geomorfología y edafología son necesarias a la hora de asignar un comportamiento hidrológico a una zona. Por ello, se propone una combinación sintética de las tres variables, a escala de cuenca, para la obtención del grupo hidrológico de suelo. La figura 1 muestra el modelo cartográfico seguido para el cálculo del umbral de escorrentía, destacando la propuesta metodológica para la estimación del grupo hidrológico de suelo.

- Se parte del mapa de **unidades geomorfológicas**, entendiendo que cada unidad presenta unos procesos hidrológicos dominantes en función de sus características.

- El mapa de unidades geomorfológicas se cruza con el mapa litológico para obtener un mapa **lito-geomorfológico**. No se trata de un cruce automático de coberturas, sino que más bien consiste en una reinterpretación de las unidades geomorfológicas, teniendo en cuenta la permeabilidad de los materiales. Requiere, por tanto, la reflexión e interpretación, para cada combinación de categorías, de un experto en hidrogeomorfología.
- El último paso consiste en cruzar los mapas de lito-geomorfología y de suelos (sintetizado con criterios de permeabilidad), para conseguir el mapa de **grupo hidrológico**. Esta fase también requiere un análisis previo con objeto decidir, para cada combinación de categorías, que tipo grupo hidrológico de suelo le corresponde.
- Finalmente, el umbral de escorrentía obtenido se ha corregido multiplicándolo por 2'75, siguiendo las directrices de Témez (1978, 1991) para el área concreta donde se sitúa la cuenca.

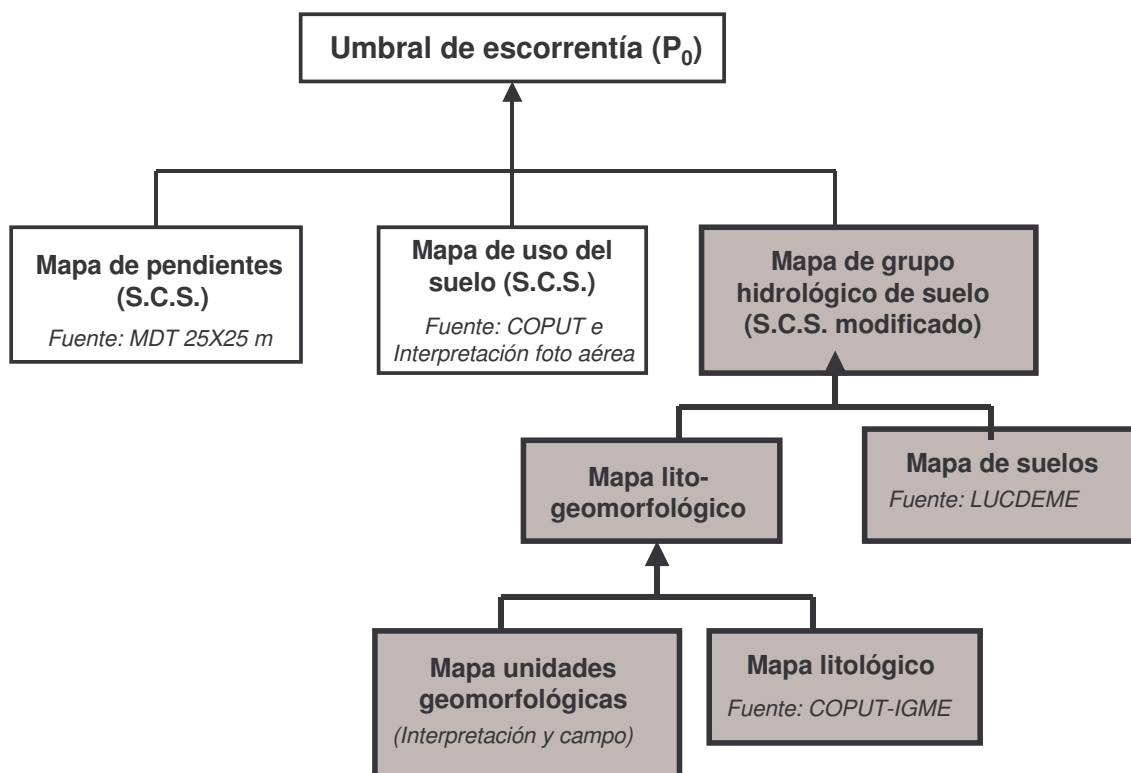


Figura 1. Modelo cartográfico del método del SCS modificado por Témez utilizado para el cálculo del umbral de escorrentía. Se destaca en sombreado la propuesta metodológica para la estimación del grupo hidrológico de suelo.

2.2. Aplicación del método modificado y análisis diacrónico

La aplicación del método del SCS -adaptado para España por Témez y modificado por nosotros- para la obtención del grupo hidrológico, se ha llevado a cabo en el Barranc del Carraixet. Esta cuenca es una rambla típica mediterránea, comprendida entre los ríos Palancia y Turia, con una superficie de 311 Km². El barranco nace en la Sierra Calderona (826 m) y desemboca en Alborai (sector norte del área metropolitana de Valencia). La figura 2 muestra la localización de la cuenca en el entorno de la Confederación Hidrográfica del Júcar y el esquema geomorfológico de la cuenca.

Las **fuentes cartográficas** de base utilizadas han sido:

- a) Modelo Digital de Elevación procedente del Servicio Geográfico del Ejército, en formato raster, con resolución de 25 m x25 m
- b) Mapa de litología obtenido a partir del mapa de la COPUT y del IGME (escala 1:50.000)
- c) Mapa de suelos de la Comunidad Valenciana, Proyecto LUCDEME (escala 1:100.000)
- d) Mapa de unidades geomorfológicas obtenido por fotointerpretación y trabajo de campo (Camarasa, 1995)
- e) Mapas de usos del suelo de 1956, 1991 y 1998. El mapa de 1956 se obtuvo a partir de la digitalización, georeferenciación y fotointerpretación de fotografías aéreas del vuelo americano (escala 1/33.000), el mapa de 1991 procede del mapa de la Conselleria de Medi Ambient de la Generalitat Valenciana (revisado), y el mapa de 1998 procede la fotointerpretación del vuelo de 1997 revisado con trabajo de campo (Pascual Aguilar, 2001).

El análisis de los datos se ha realizado mediante el software IDRISI 32 (v. *release* 2), y el software Arc-View, v. 3.2, siguiendo el modelo cartográfico descrito en la figura 1. Los mapas de partida para la obtención del umbral de escorrentia son tres: pendientes, usos del suelo y grupo hidrológico del suelo. El **mapa de pendientes** se obtiene a partir del MDE, y se reclasifica en las dos categorías que requiere el método: menor de 3% y mayor o igual al 3%.

El **mapa de usos del suelo** ha sido reinterpretado y adaptado a las categorías que propone Témez. Los usos del suelo recientes (1998) presentan un dominio claro de dos categorías: el matorral (34% del territorio), ubicado en la mayor parte de la zona serrana, y los cítricos (30%), que cubren la mayor parte del piedemonte de Bétera y la plataforma de Burjassot-Llíria. La tercera categoría en importancia es el uso urbano e industrial (11,38%), localizado fundamentalmente en el llano de inundación. La huerta (7%) y el bosque (5,7%) son los usos de menor extensión.

El mapa de **grupo agrológico** del suelo, sigue las pautas metodológicas especificadas en el apartado anterior. Se parte del mapa de **unidades geomorfológicas** (véase Figura 2), que en la zona de estudio, presenta siete categorías (Camarasa, 1995), entre las que destacan:

- Los relieves mesozoicos de cabecera, pertenecientes a la vertiente meridional de la Serra de Calderona. Este sector conforma un relieve típicamente germánico, compartimentado en bloques, que descienden en gradería hasta el litoral, donde desaparecen bajo el aluvionamiento cuaternario. El ambiente morfogenético es el de vertientes (Perez Cueva, 1988). Dominan, en consecuencia, los procesos hidrogeomorfológicos de ladera, que propician la producción de escorrentia superficial, sobre todo, en las partes más elevadas y rocosas (Yair y Lavee, 1985).
- Una plataforma calcárea, de baja pendiente, en el sector meridional de la cuenca, entre Burjassot y Llíria. En esta zona dominan los procesos kársticos y fluviokársticos, a favor de la infiltración y percolación y en detrimento de la escorrentia superficial (salvo en las cubetas de descalcificación).

- Zona sedimentaria de transición: abanicos, piedemontes y terrazas. Entre la Sierra de Calderona y la plataforma de Burjassot-Llíria, se sitúa un sector intramontano, fracturado y hundido, sobre el que se desarrolla el piedemonte de Bétera. Este piedemonte, construido a partir de grandes abanicos coalescentes, glacis de acumulación y mantos de derrubios, constituye, desde el punto de vista hidrogeomorfológico, una zona de transición, que absorbe la escorrentía superficial generada en las vertientes rocosas, inhibiendo en un principio el flujo directo y pudiendo aportar, en fases posteriores, flujos laminares superficiales y subálveos.

Se distingue entre abanicos encostrados del Pleistoceno Medio y los más recientes, de material no consolidado. En el primer caso cabe esperar un comportamiento más parecido al roquedo calcáreo que en el segundo, más próximo a depósitos aluviales propiamente dichos.

- Llano de inundación. Dominan los procesos de desbordamiento y transmisión de flujo del cauce al llano. Distinguimos entre cuenca holocena y actual, con el fin de determinar dónde los procesos son más activos.

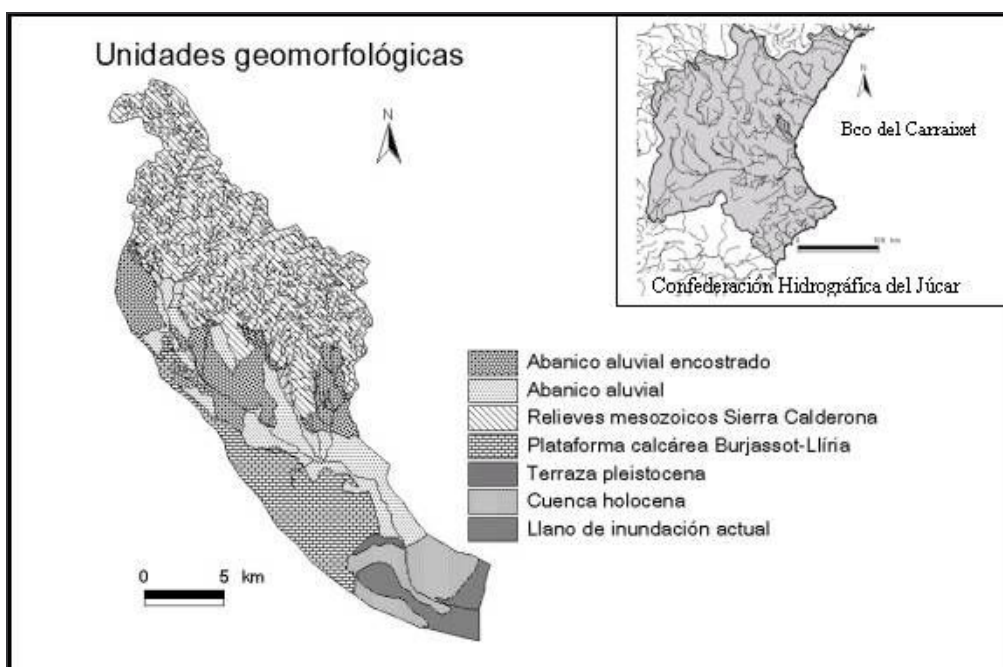


Figura 2. Localización de la zona de estudio. Esquema geomorfológico y red de drenaje de la cuenca del Carraixet, según Camarasa (1995)

La figura 3 muestra la combinación de mapas realizada según la metodología propuesta para obtener el mapa de grupos hidrológicos de suelo. En primer lugar, el mapa de unidades geomorfológicas se cruza con el mapa litológico. La litología de los relieves de cabecera está constituida fundamentalmente por materiales calcáreos del Muchelkalk y del Jurásico; areniscas rojas del Buntsandstein (que en algunos casos aparecen, cubiertas a techo por un nivel evaporítico de margas y arcillas abigarradas, denominado facies Röt) (Brinkman, 1931); y algunos afloramientos de margas, arcillas y yesos en las cabeceras de los Barrancos de Olocau y Serra. En la plataforma Burjassot-Llíria domina el material calcáreo combinado con las arcillas y limos que tapizan las cubetas de descalcificación. El material cuaternario de cantos, gravas y limos rellena las unidades sedimentarias, con predominio de arcillas y limos en la cuenca baja.

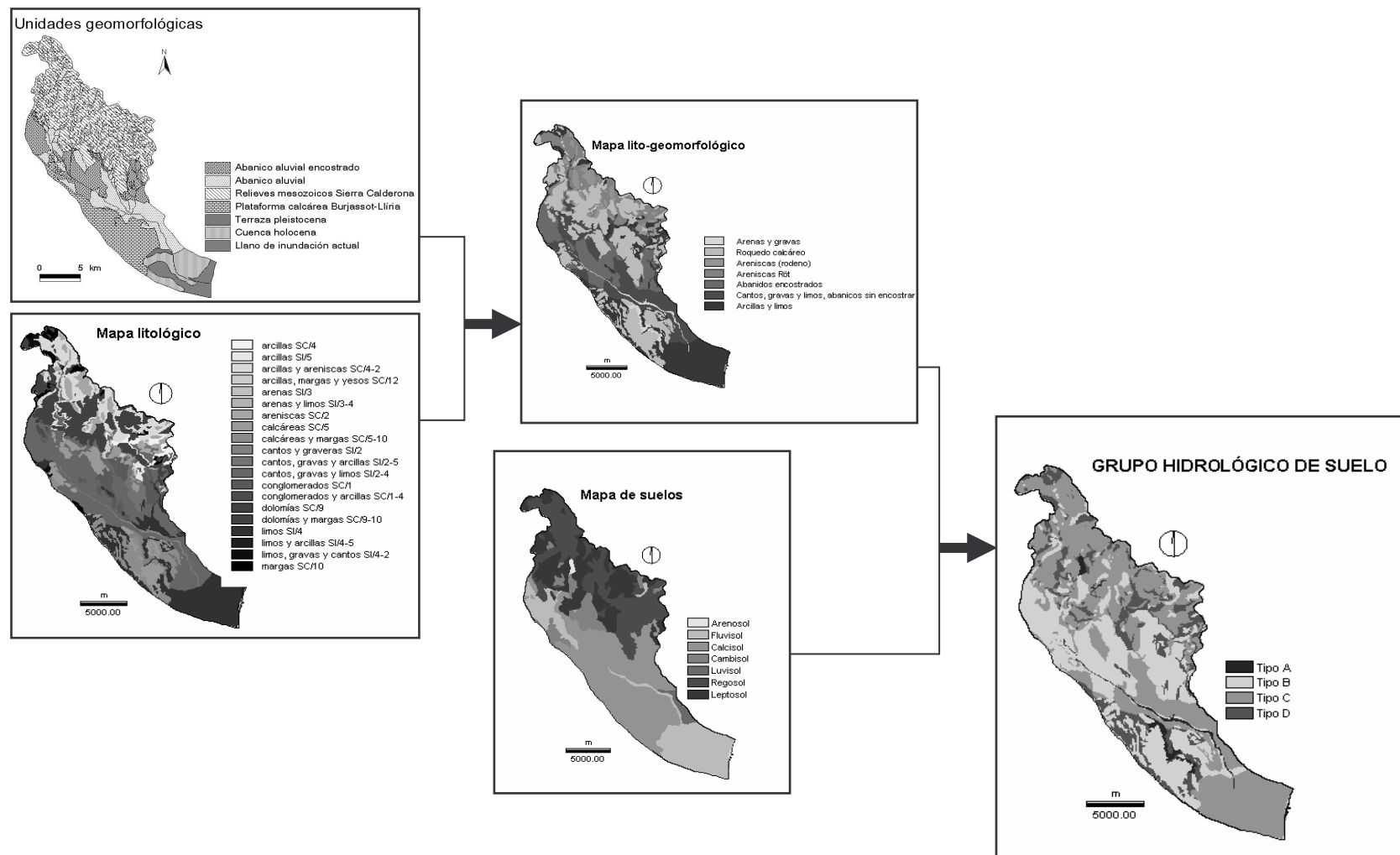


Figura 3. Propuesta metodológica para la estimación del grupo hidrológico de suelos

El mapa litológico modifica el de unidades geomorfológicas para obtener el **mapa lito-geomorfológico**. En algunos casos las unidades geomorfológicas iniciales se subdividirán, como ocurre con los relieves de cabecera, donde la diferencia litológica entre calizas, areniscas y arcillas supone cambios de comportamiento dentro de la misma unidad. En otros casos, como en la unidad de llano, se producirá una agregación entre la cuenca de inundación holocena y la actual, habida cuenta que, en ambas, el proceso que domina es el del desbordamiento, y la producción de escorrentía está muy condicionada por el tipo de material, muy similar en los dos casos.

El último paso consiste en cruzar los mapas de lito-geomorfología y de edafología, (previamente sintetizado con criterios de permeabilidad). En la zona de estudio, dominan los suelos calcisoles, desarrollados fundamentalmente sobre la zona sedimentaria de abanicos y la plataforma calcárea de Burjassot-Llíria. Estos suelos presentan textura franco-arcillosa-limosa, estructura subangular y drenaje bueno a moderadamente bueno. En la cabecera aparecen regosoles (asociados principalmente a materiales del Keuper de facies Röt) y leptosoles. Suelen ser suelos, de textura franco-arcillosa y de drenaje pobre. En la cuenca baja dominan los fluvisoles, cuya estructura franca a franco-arenosa y su estructura granular le proporcionan buenas condiciones de drenaje.

La combinación del mapa lito-geomorfológico con el de suelos permite obtener el **grupo hidrológico**. La tabla 1 muestra la combinación de pares de categorías entre ambos mapas y la asignación propuesta de grupo hidrológico. Aunque esta asignación no deja de ser una interpretación subjetiva, adaptada a la zona de estudio, los resultados obtenidos son muy coherentes con el trabajo de campo. El grupo A (drenaje excesivo) es minoritario. Aparece fundamentalmente en el cauce, ligado a litología no consolidada de arenas y gravas, y en zonas de arenosoles. El tipo B (drenaje moderado) afecta a los abanicos encostrados y a la plataforma calcárea de baja pendiente. El grupo C (suelos imperfectamente drenados) es el dominante, y se ubica sobre las cabeceras permeables, en los abanicos sin encostrar y en las llanuras, relacionados con los fluvisuelos. Por último, el grupo D (suelos mal drenados) se localiza en zonas de litología arcillosa o de litosuelos.

Tabla 1. Propuesta de asignación de grupo hidrológico de suelo

LITOLOGÍA	TIPO DE SUELO						
	Arenosol	Fluvisol	Calcisol	Cambisol	Luvisol	Regosol	Leptosol
Arenas y gravas no consolidadas	A	A	A	A	A	A	A
Roquedo calcáreo	A	B	B	B	B	B	C
Areniscas (rodano)	A	B	B	B	B	B/C*	C
Areniscas <i>facies Röt</i>	A	B	B	B	C	C	C/D*
Abanicos encostrados	A	B	B	B	C	C	D
Abanicos sin encostrar	A	B*/C	B/C*	B/C*	C	C	D
Arcillas y limos	B	C	C/D*	C/D*	D	D	D

(*) Grupo propuesto para este estudio (de los dos posibles), tras el análisis de campo

Finalmente la combinación de las tres variables básicas según el modelo descrito en la figura 1 (pendientes, usos del suelo y grupo hidrológico) permiten obtener el mapa de umbral de escorrentía. Dado que la variable usos del suelo es la más dinámica, se han obtenido 3 mapas de umbral de escorrentía, utilizando los usos del suelo de 1956, 1991 y 1998. De esta forma se pretende realizar un análisis espacio-temporal de la influencia que los cambios en los usos del suelo ejercen en la producción de escorrentía.

3. RESULTADOS

Como ya se ha explicado la aplicación del método se ha realizado, en primer lugar, para las condiciones actuales de uso del suelo (tomando como fecha de referencia 1998) y, posteriormente para el período comprendido entre 1956 y 1998.

3.1. Mapa de umbral de escorrentía bajo condiciones medias de humedad

La figura 4 muestra el mapa de umbral de escorrentía obtenido para 1998, calculado bajo condiciones medias de humedad (AMC II). El Barranc del Carraixet presenta un umbral medio para la cuenca de 63'6 mm. Estos resultados son coherentes con los obtenidos por otros autores, mediante métodos diversos, para zonas comparables. Así, Segura (1990) propone umbrales medios entorno a los 65 mm para las ramblas del norte del País Valenciano. Mateu (1982) habla de unos 60 mm mantenidos durante 5 ó 6 horas. Camarasa y Segura (1996) estudian los umbrales en varias ramblas valencianas y proponen un umbral medio entre 65 y 80 mm.

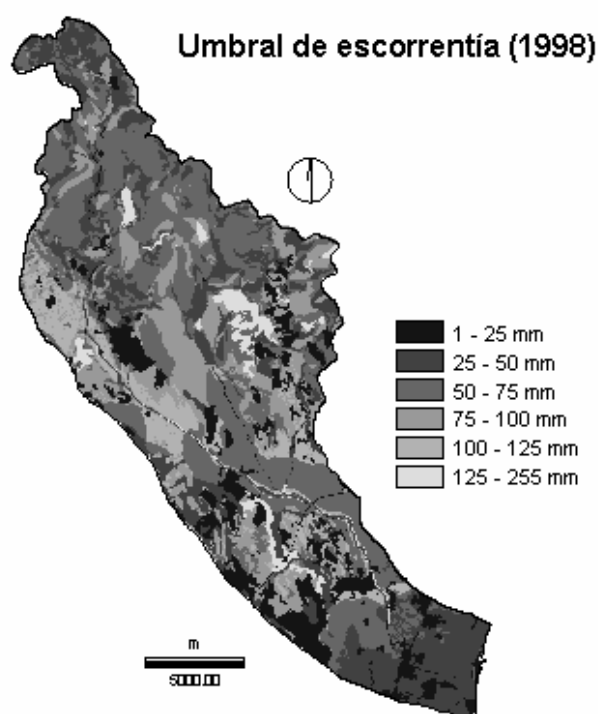


Figura 4. Mapa del umbral de escorrentía en la cuenca del Carraixet en 1998

El mapa obtenido permite el análisis de la distribución espacial del umbral en toda la cuenca. Podemos observar como los mayores umbrales (>125 mm) aparecen ligados a zonas de alta permeabilidad, bien por ubicarse sobre gravas y arenas, bien por contar con una formación de bosque denso, con suelos profundos y bien desarrollados. Los

valores por encima de la media aparecen en zonas de poca pendiente y litología permeable, como la Plataforma de Burjassot-Llíria y en el sector de abanicos encostrados con cultivo de cítricos (piedemonte de Bétera). Umbrales en torno a la media y ligeramente por debajo aparecen el sector serrano, de gran pendiente y suelos más pobres y en las partes distales de los abanicos sin encostrar, con abundante matriz arcillosa y mejores suelo. Por último, los umbrales más bajos aparecen asociados a zonas de suelo urbano e industrial, afloramientos de litología impermeable en las cabeceras y al llano de inundación, tapizado de arcillas y limos.

3.2. EVOLUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA EN FUNCIÓN DE CAMBIOS EN LOS USOS DEL SUELO (1956-1998)

La evolución del umbral de escorrentía desde 1956 parte de su estimación en tres fechas claves (1956, 1991 y 1998) y su posterior evolución. Como los cambios del parámetro están condicionados por los cambios en los usos del suelo, realizaremos primero una reflexión sobre el sentido los mismos.

En el 1956, el secano ocupaba la mayor parte del sector de abanicos y la plataforma calcárea de Burjassot-Llíria y era el uso más extendido (38,5 %), seguido del bosque (21,4 %), en la zona montaña, y de la huerta (15 %), en el llano. Los cítricos, restringidos a los abanicos sin encostrar, apenas ocupaban el 9 % del territorio y el suelo urbano e industrial era muy reducido (1,2 %).

Esta situación ha cambiado considerablemente en 1991, donde los cítricos pasan a ocupar el uso más extendido (30 %), a costa, en un 13,5 %, del retroceso del secano, y de la huerta, en un 5,3 %. Las plantaciones de cítricos se extienden principalmente por el sector de abanicos. Aunque las masas forestales densas han sufrido cierta disminución (por transformaciones a secano -5,36 %- y degradación a matorral -2,8 %-), siguen siendo significativas (20,7 %) en las cabeceras de los barrancos de Olocau y Serra. El matorral comienza a extenderse también, a partir de la degradación del bosque y del abandono del secano. El suelo urbano e industrial presenta un incremento importante, pasando a ocupar el 11,5 % de la superficie, a costa, sobre todo, del secano y del monte bajo.

Las principales transformaciones entre 1991 y 1998 atañen a la práctica desaparición de las masas forestales densas, que, circunscritas a las inmediaciones de Portaceli, apenas ocupan el 5,7 % del territorio. La sierra se ha “matorralizado” (Urios, 2004) considerablemente, a costa, fundamentalmente, de la pérdida de 46,88 km² (15% del territorio) de bosque.

En definitiva, si consideramos los cambios, en conjunto, desde 1956 a 1998, destaca el incremento de los cítricos -21 %- (a expensas del secano y de la huerta); del matorral -20,5%- (por retroceso del bosque y abandono del secano) y del suelo urbano e industrial -11,2 %- (sobre todo a partir del secano y de la huerta). Han retrocedido considerablemente el secano -28,3 %-, el bosque -15,7 %- y los cultivos de huerta -8 %-.

Todas estas transformaciones influyen en la producción de escorrentía, tanto a nivel global, como por zonas. El umbral medio de la cuenca, para el año 1956 era de 68,4 mm, en el año 1991 ha descendido a 66,8 mm y en 1998 es de 63,6 mm. Existe por tanto, una tendencia progresiva a que, bajo las mismas condiciones de lluvia, se produzca un incremento del flujo superficial. La figura 6 muestra los cambios en el

parámetro de escorrentía, interpretado en términos de producción de flujo superficial. La disminución en el umbral de escorrentía (P_0) se interpreta como aumento en la producción de escorrentía, y viceversa. Entre 1956 y 1991, mientras el umbral permanece estable en el 48 % de la superficie, la escorrentía superficial tiende a reducirse en el 32 %, como consecuencia de las transformaciones del secano a cítricos (que requieren suelos más profundos y acondicionados) y, del abandono de algunos campos de secano, que se reforestan espontáneamente. El 20 % de la superficie incrementa su potencial de producción de escorrentía, debido a la degradación del bosque a matorral, en la zona serrana y al incremento del suelo urbano e industrial en la cuenca baja. Entre 1991 y 1998, las principales modificaciones afectan a la sierra, e implican un incremento de la escorrentía en el 18 % de la superficie, directamente relacionado con la degradación del bosque a matorral.

EVOLUCIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

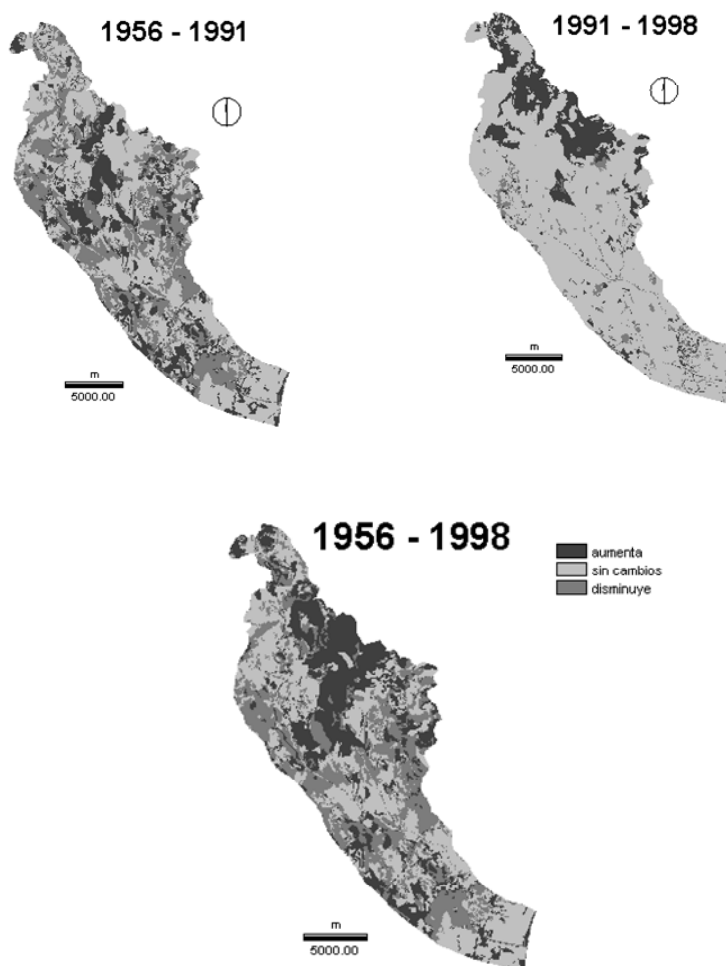


Figura 6. Dinámica de la producción de escorrentía superficial en el período 1956-98

En síntesis, entre 1956 y 1998, sólo el 39% de la superficie de la cuenca mantiene estable en la producción de escorrentía. El 31% ha disminuido su potencial para producir flujo superficial, como consecuencia de la sustitución del secano por cítricos en la cuenca media y baja (que demandan mayor estabilidad de pendientes y

potencia de suelos), así como el abandono de algunos cultivos que ha propiciado la reforestación de la zona. En el restante 30% de la zona la tendencia de la escorrentía ha sido a aumentar, en relación con la degradación de las masas forestales a matorral, en la sierra, y con el avance del suelo urbano e industrial, en la cuenca baja. Llegados a este punto, cabría matizar, desde la óptica del riesgo, que, el incremento de la escorrentía se está produciendo en los sectores de cabecera, donde se dan las mayores pendientes y, en consecuencia, el mayor potencial erosivo, y en la cuenca baja, donde se asienta la población.

4. CONCLUSIONES

Este trabajo propone una modificación al método del S.C.S. para la estimación del umbral de escorrentía en zonas mediterráneas, basada en la interpretación hidrogeomorfológica de la cuenca para la estimación del grupo hidrológico de suelo. Si bien el cálculo del umbral de escorrentía se realiza de forma automática utilizando las funciones del SIG, la modificación propuesta no es sólo un proceso de superposición de capas, fácilmente automatizable, sino que requiere conocimientos previo de la cuenca y la intervención de un experto en hidrogeomorfología. Los resultados obtenidos son coherentes con los valores esperados.

El uso de los SIG permite fácilmente extender el cálculo del umbral de escorrentía a diferentes fechas, ya que este parámetro varía en función del uso del suelo. La cuenca de Carraixet ha sufrido profundas transformaciones desde 1956, que han afectado al 61% de la superficie. Entre los principales cambios, destaca el incremento de los cítricos -21%- (a expensas del secano y de la huerta); del matorral -20,5%- (por retroceso del bosque y abandono del secano) y del suelo urbano e industrial -11,2%- (sobre todo a partir del secano y de la huerta). Han retrocedido considerablemente el secano -28,3%-, el bosque -15,7%- y los cultivos de huerta -8%-.

Estos cambios han influido en la producción de escorrentía, ya que el umbral medio (P_0) de la cuenca en el período 1956-98 ha descendido, pasando de 68,4 mm en 1956, a 66,8 mm en 1991 y 63,6 mm en 1998. En términos de producción de escorrentía solamente el 39% de la superficie de la cuenca se mantiene estable, el 31% ha disminuido su potencial para producir flujo superficial, como consecuencia de la sustitución del secano por cítricos en la cuenca media y del abandono de algunos cultivos que ha propiciado la reforestación de la zona. En el restante 30% de la zona la tendencia de la escorrentía ha sido a aumentar, en relación con la degradación de las masas forestales a matorral, en la sierra, y con el avance del suelo urbano e industrial, en la cuenca baja.

Por último, el análisis en la distribución espacial de estos parámetros permite destacar la importancia de que los mayores incrementos de escorrentía se han producido en las cabeceras, incrementando el potencial erosivo de las laderas, y en la cuenca baja, donde se asienta el mayor número de habitantes y donde el riesgo de inundación es más elevado.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado gracias a la financiación del Ministerio de Educación y Ciencia, proyecto REN2003-07171 “Riesgo de Inundación en Ramblas Mediterráneas. Umbrales hidrogeomorfológicos de crecida”, cofinanciado por fondos FEDER.

BIBLIOGRAFÍA

- Almorox, J.; Hontoria, Ch. y Saa, A. (2001): "Utilización de los Sistemas de Información Geográfica para la estimación automática de la escorrentía directa", *Ingeniería del Agua*, vol. 8, nº 3, p. 295-304.
- Bescós, A. y Camarasa, A.M. (2000): "Elaboración de cartografía de zonas inundables. Aplicación al llano de inundación del río Arga (Navarra)", *Serie Geográfica*, nº 9. Depto. Geografía, Universidad de Alcalá, p. 219-236.
- Bhuyan, S.J.; Mankin, K.R. y Koelliker, J.K. (2003): "Watershed-Scale AMC selection for hydrologic Modeling", *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, vol. 46 (2), p. 303-310.
- Brinkmann, R. (1931): "Betikum und Keltiberikum in Südosstpanien". Trad. al español en 1948 por J. Gómez de Llarena con el título: "Las cadenas Béticas y Celtibéricas del Sureste de España", *Publ. Extr. Geol. España*, 4, p. 305-431.
- Camarasa, A. M. (1995): "Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas: Barranc del Carraixet y Rambla de Poyo". MOPT-Confederación Hidrográfica del Júcar, 252 pp.
- Camarasa, A.M. y García-Bartual, R. (1991): "Estimación del hidrograma de crecida a partir de un modelo conceptual de base geomorfológica", *Tecnología del agua*, 81, p. 49-55.
- Camarasa, A.M. y Segura (1996): "Balances hídricos de crecidas en ramblas mediterráneas: pérdidas hídricas". En Marzol, M.V.-Dorta, P.-Valladares, p. (eds.): *Clima y agua: la gestión de un recurso climático*, p 235-246.
- Camarasa, A.M. y Segura (2001): Flood events in Mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain, *Catena*, 45, pp 229-249.
- Camarasa, A.M.; Salas, J. y Chuvieco, E. (2001): "Información geográfica y riesgos naturales", *El Campo de las Ciencias y las Artes*, BBVA, p. 103-136.
- Cuena, J. (1996). El tratamiento de emergencias por inundación mediante sistemas de inteligencia artificial integrados en sistemas de información. *Curso sobre métodos para el cálculo hidrológico de crecidas*. CEDEX, MOPTMA (sin paginar).
- Eastman, J.R. (1997): *IDRISI for Windows*. Clark Labs. for Cartographic Technology and Geographic Analysis. Clark University. Worcester. EE.UU.
- Ferrer Polo, J. (1993): "Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de Avenidas", CEDEX, monografía 37, 76 p.
- Ferrer, M. (2002): *Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva del modelo hidrológico del SCS: datos de perfiles de suelos y teledetección*, Tesis doctoral inédita, Universidad de Salamanca, Departamento de Geografía.
- Ferrer, M.; Rodríguez, J. y Estrela, T. (1995): "Generación automática del Número de Curva con Sistemas de información Geográfica", *Ingeniería del Agua*, vol. 2, nº 4, p. 43-58.
- Francés, F. y Benito, J. (1995): "La modelación distribuida con pocos parámetros de las crecidas", *Ingeniería del Agua*, vol. 2, nº 4, p. 7-24.
- Francés, F; Marco, J.B. y Llorens, V. (2000): "Un ejemplo de análisis regional del riesgo de inundación en el marco de la planificación territorial", *Serie Geográfica*, nº 9. Depto. Geografía, Universidad de Alcalá, p. 237-249

- Hjelmfelt, A.T. (1991): "Investigation of Curve Number Procedure", *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 117, nº 6, p. 725-737.
- Mateu, J. (1982): *El norte del País Valenciano. Geomorfología litoral y prelitoral*, Universitat de Valencia, 285 p.
- Meijerink, A.M.J.; Brouwer, H.A.M.; Mannaerts, C.M. y Valenzuela, C.R. (1994): *Introduction to the use of Geographic Information System for practical hydrology*, UNESCO-International Hydrological Program & International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC). Publicación nº 23. Holanda.
- Olivares, A. (2004): "Modelación hidrológica pseudo-distribuida del Barranc del Carraixet: aplicación al episodio de octubre de 2000", *Cuadernos de Geografía*, 155-182.
- Osborn, H.B. y Lane, L.J. (1969): "Precipitation-runoff relation for very small semiarid rangeland watersheds", *Water Resource Research*, 5, 2, p. 419-425.
- Pascual, J.A. (2001): *Cambios de usos del suelo y régimen hídrico en la rambla de Poyo y el barranc de Carraixet*. Tesis doctoral, Universitat de València, 307p.
- Pascual, J.A. (2004): "Dinámica reciente de usos del suelo en el continuo metropolitano de Valencia (1956-1998)", *Cuadernos de Geografía*, 76, p.183-202.
- Pérez Cueva, A. (1988): *Geomorfología del sector ibérico valenciano entre los ríos Mijares y Turia*, Dpto. de Geografía, Universitat de Valencia, 217 p.
- Perrone, J. y Madramootoo, C.A. (1998): "Improved curve number selection for runoff prediction", *Journal Civil Engineers*, 25, p. 728-734.
- Segura, F. (1990): *Las ramblas valencianas*, Valencia, Universitat de Valencia, 229 p.
- Silveira, L.; Charbonnier, J. y Genta, J.L. (2000): "The antecedent soil moisture condition of the curve number procedure", *Hydrological Sciences Journal*, 45 (1), p. 3-12.
- Simanton, J.R.; Hawkins, M.; Mohseni-Saravi, M. y Renard, K.G. (1996): "Runoff Curve Number variation with drainage area, Walnut Gulch, Arizona", *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, vol. 39 (4), p. 1391-1394.
- Témez, J. R. (1978): *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. MOPU Dirección General de Carreteras, 113 pp.
- Témez, J.R. (1991): "Extended and improved Rational Method. Version of the Highways Administration of Spain", *Proc. XXIV Congress*, vol A, p 33-40.
- Urios, J.I. (2004): "Análisis del régimen de incendios forestales en los montes de Portaceli durante el siglo XX (Serra, Valencia)", *Cuadernos de Geografía*, 76, p.219-238.
- US Soil Conservation Service (1972): *National Engineering Handbook*, sec 4, sup. A, Hydrology.

